



Doctoral Thesis

Coupled climate, ecosystem and landscape development in the Afro-Mediterranean region since the Oligocene

Author(s):

Krawielicki, Julia

Publication Date:

2019

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000405004> →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 26318

**COUPLED CLIMATE, ECOSYSTEM AND LANDSCAPE
DEVELOPMENT IN THE AFRO-MEDITERRANEAN REGION SINCE
THE OLIGOCENE**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZÜRICH
(Dr. sc. ETH Zürich)

presented by

JULIA KRAWIELICKI

MSc Earth Sciences, ETH Zürich
born 08.11.1987
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Sean D. Willett, ETH Zürich, examiner
Prof. Dr. Timothy I. Eglinton, ETH Zürich, co-examiner
Dr. Clayton R. Magill, Lyell Centre, co-examiner
Dr. Naomi Levin, University of Michigan, external examiner

2019

Summary

Earth's landscapes are dynamic systems shaped by the interplay of geology, biosphere and atmosphere. The focus of this thesis is to reconstruct ecosystems of the Oligo-Miocene using lipids and their stable isotopic composition. Organic compounds from plant leaves and microbes provide information on the climate, hydrology and vegetation of this period. Here, plant wax *n*-alkanes and their hydrogen (δD_{wax}) and carbon isotopic values ($\delta^{13}C_{wax}$) are used to reconstruct changes and diversity of vegetation and precipitation. In addition, microbial lipids (brGDGTs) are applied to reconstruct temperature and soil pH in order to trace climatic changes. These proxies are paired with lithology observations and the mineralogical composition of the sediment. In summary, these proxies allow investigation of different ecological and tectonic settings from dramatic landscape changes in the Messinian Mediterranean, to environmental changes in the Miocene Arabian Sea, and mountain uplift in Oligo-Miocene northeast Africa.

First, a survey of modern stable isotopic signals of precipitation and plants in northeast Africa provides insight into modern isotopic patterns and mechanisms. Plant leaf ($n = 77$) and surface water ($n = 181$) samples have been collected from the Ethiopian plateau to measure plant $\delta^{13}C_{wax}$ & δD_{wax} and water $\delta^{18}O_{H_2O}$ & δD_{H_2O} . Additionally, analysis of data from the global GNIP database supports previous studies highlighting the contrasting isotopic values in precipitation from the Gulf of Guinea and Indian Ocean. The analysis of modern samples in Chapter 2 are in agreement with previous findings that analyzed the impact of Ethiopian topography on rainout and stable isotope pattern.

Chapters 3 and 4 focus on the paleo-environmental changes in northeast Africa during the Oligo-Miocene. In the Oligocene, northern and central Africa moved through the equatorial zone, thus the climate changed towards higher humidity, supporting large forests and woodlands where deserts and open habitats dominate today. In the mid-Miocene, grasslands spread across the lower latitudes and C_4 grasses started to dominate east African vegetation. Paleontologists have observed changes in the biogeographical configuration during the late Oligocene, which were attributed to the increasing topography of the Ethiopian highlands. To test this hypothesis, fluvio-lacustrine sediment samples ($n = 197$) from outcrops on the Ethiopian plateau were targeted. The results show that Ethiopia's Oligocene vegetation was dominated by open and closed woodlands that fostered the earliest African C_4 plants. Their emergence is evident in high carbon isotopic values of plant wax *n*-alkanes and supports a

phylogenetic hypothesis that they emerged as highly specialized plants long before the expansion of C₄ grasslands. Later in the early Miocene, these open habitats are replaced by denser forests that stand in contrast to the woodlands and early grasslands of other African regions on the same latitude.

A short-term appearance of C₄ plants is also seen in another record from the lower latitudes in the Kerala-Konkan basin (Arabian Sea, offshore western India). Here, marine sediments from a core integrate organic matter from the Indian Deccan plateau. The results paint a different picture of continuous C₃ vegetation in the Oligocene-early Miocene and a short emergence of C₄ plants during the mid-Miocene climatic optimum. Although high temperatures of this period were a large advantage for C₄ plants, no such rise can be seen in mid-Miocene sediments of Ethiopia. This comparison shows that neither temperature nor other global factors such as pCO₂ are exclusively responsible for the emergence of C₄ plants. Instead, more complex localized factors need to be taken into consideration which are discussed in detail in Chapter 4.

The focus of Chapter 5 is an extreme event of desiccation in the Mediterranean Sea caused by limited exchange of seawater with the Atlantic Ocean in the late Miocene. This ‘Messinian salinity crisis’ (MSC) had significant effects on the landscapes of the Mediterranean region and re-organized hydrological conditions through dramatic effects on evaporation and freshwater input. To reconstruct environmental and landscape changes during this event, sediment samples have been collected from marine sedimentary outcrops of the Idice section in the northern Apennines (n = 74) and the Maccarone section in the central Apennines (n = 17). Based on the assumption that the hydrogen isotopic signature of plant waxes is mostly influenced by altitude in this region, the comparison of data in both sections shows that the Apennines experienced localized uplift to ca. 2 km elevation. Furthermore, the combination of marine and terrestrial biomarkers shows that climate played a minor role as an additional desiccation agent in the early stage of the MSC, but became more important towards the end of the event. The last MSC stage is characterized by abrupt climate and vegetation shifts reflected in terrestrial markers. Before reflooding the Mediterranean with Atlantic Ocean water, the data shows extreme shifts in marine and terrestrial proxies, indicating that climate had a strong impact on ending this event.

Zusammenfassung

Die Erde ist ein dynamisches System im Zusammenspiel von Geologie, Biosphäre und Atmosphäre. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Rekonstruktion von Ökosystemen des Oligomiozäns durch Verwendung von Lipiden und ihren stabilen Isotopen. Organische Verbindungen aus Pflanzenblättern und Mikroben geben Auskunft über Klima, Hydrologie und Vegetation ihrer Zeit.

In dieser Arbeit werden Alkane aus Pflanzenwachsen und ihre Wasserstoff- (δD_{wax}) und Kohlenstoffisotopenwerte ($\delta^{13}C_{wax}$) verwendet, um hydrologische und vegetative Prozesse der Vergangenheit aufzuzeigen. Zusätzlich werden mikrobielle Lipide (brGDGTs) analysiert, um Temperatur und Boden-pH-Wert zu verdeutlichen und Klimaveränderungen zu verfolgen. Diese Proxies werden mit lithologischen Beobachtungen und der mineralogischen Zusammensetzung des Sediments gepaart. Zusammengefasst ermöglichen diese Indikatoren die Untersuchung komplexer ökologischer und tektonischer Prozesse von dramatischen Landschaftsveränderungen im Messinischen Mittelmeer sowie Umweltveränderungen im miozänen Arabischen Meer bis hin zur Hebung der Berge im oligomiozänen Nordosten Afrikas.

Vor der Rekonstruktion vergangener Umweltsysteme wurde eine Studie aktueller Isotopenwerte in heutigen Niederschlägen und Pflanzenwachsen Nordostafrikas durchgeführt (Kapitel 2). Diese Studie liefert Einblicke in moderne Isotopenmuster und -mechanismen. Pflanzenblattproben ($n = 77$) und Oberflächenwasserproben ($n = 181$) wurden auf dem äthiopischen Hochplateau entnommen, um $\delta^{13}C_{wax}$ & δD_{wax} und $\delta^{18}O_{H_2O}$ & δD_{H_2O} zu messen. Zusätzlich wurden Daten verschiedener afrikanischer Regionen aus der globalen GNIP-Datenbank analysiert, die die unterschiedlichen Isotopenwerte der Niederschläge aus dem Golf von Guinea und dem Indischen Ozean abbilden. Die Analyse der Proben bestätigt ältere Studien, die den Einfluss der äthiopischen Topografie auf den Niederschlag und das stabile Isotopenmuster betonten.

Kapitel 3 und 4 befassen sich mit den Veränderungen der Paläoumweltbedingungen im Nordosten Afrikas während des Oligomiozäns. Im Oligozän bewegten sich Nord- und Zentralafrika durch die Äquatorzone, wodurch sich feuchtwarmes Klima bildete und dichte Wälder wuchsen, wo heute Savannen dominieren. Im mittleren Miozän breiteten sich Graslandschaften entlang der unteren Breitengrade aus und C_4 -Gräser begannen, die ostafrikanische Vegetation zu prägen. Paläontologen haben Veränderungen in der

biogeografischen Struktur während des späten Oligozäns beobachtet, die auf die zunehmende Topografie des äthiopischen Hochlands zurückgeführt wurden. Diese Veränderungen der Vegetation, des lokalen Klimas und des möglicherweise wachsenden Hochlandes wurden durch die Entnahme von Sedimentproben (n = 197) aus dem nördlichen und südlichen äthiopischen Plateau untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Äthiopiens oligozäne Vegetation von Wäldern geprägt war, die jedoch offene und instabile Lebensräume ausformten. Dort konnten sich die frühesten Vorgänger der C₄-Gräser entwickeln, was sich an hohen Kohlenstoffisotopenwerten von Pflanzenwachsen (Alkanen) deutlich erkennen lässt. Dieser Befund bestätigt frühere Hypothesen von phylogenetischen Studien, wonach die frühesten C₄-Gräser als hochspezialisierte Pflanzen lange vor der Ausdehnung von C₄-Graslandschaften entstanden sind. Später, im frühen Miozän, wurden diese offenen Lebensräume durch dichtere Wälder ersetzt – im Gegensatz zu Wäldern und Wiesen anderer afrikanischer Regionen auf ähnlichen Breitengraden.

Eine weitere, kurzzeitige Existenz von C₄-Pflanzen ist in einem Sedimentarchiv aus dem Kerala-Konkan-Becken des Miozäns festzustellen. Das Sediment wurde vom indischen Dekkan-Plateau transportiert und belegt, wie sich C₄-Pflanzen während warmer optimaler Klimabedingungen des mittleren Miozäns für kurze Zeit ausbildeten. Obwohl hohe Temperaturen in dieser Zeit für C₄-Pflanzen von großem Vorteil waren, lässt sich ein solcher Anstieg in gleichaltrigen Sedimenten Äthiopiens nicht beobachten. Dieser Vergleich zeigt, dass weder die Temperatur noch andere globale Faktoren – wie etwa pCO₂ – ausschließlich für die Entstehung von C₄-Pflanzen verantwortlich sind. Stattdessen müssen komplexere lokale Faktoren berücksichtigt werden.

Die „Messinische Salinitätskrise“ (MSC), die extreme Austrocknung des Mittelmeers im späten Miozän, bildet den Schwerpunkt von Kapitel 5. Dieses Ereignis wurde durch den begrenzten Austausch von Meerwasser mit dem Atlantik verursacht und hatte erhebliche Auswirkungen auf die Landschaften des Mittelmeerraums. Die MSC löste einen dramatischen Wandel der hydrologischen Bedingungen durch extreme Verdunstung und Frischwassereintrag aus. Um diese Umwelt- und Landschaftsveränderungen während der MSC zu rekonstruieren, wurden Sedimentproben aus dem Idice-Profil im nördlichen Apennin (n = 74) und aus dem Maccarone-Profil im mittleren Apennin (n = 17) entnommen. Der Vergleich der Wasserstoffisotopensignatur von Pflanzenwachsen in beiden Abschnitten zeigt, dass sich im Apennin lokal eine Hebung auf circa zwei Kilometer Höhe vollzogen hat. Darüber hinaus zeigt die Kombination von marinen und terrestrischen Biomarkern, dass das Klima im Frühstadium

der MSC für die extreme Austrocknung eine untergeordnete Rolle spielte, jedoch gegen Ende an Bedeutung gewann. Das letzte MSC-Stadium ist durch abrupte Klima- und Vegetationsveränderungen gekennzeichnet, die sich mehr in terrestrischen als marinen Proxies widerspiegeln. Entgegen früherer Untersuchungen zeigen extreme Verschiebungen bei marinen und terrestrischen Klima-Proxies kurz vor der Flutung des Mittelmeers mit Wasser aus dem Atlantik, dass die Beendigung dieses Ereignisses im Zusammenhang mit Klimaveränderungen stand.